

REC'D PCT/PTO 07 FEB 2003
17.07.03

BUNDE REPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 07 AUG 2003

WIPO PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 39 317.6
Anmeldetag: 27. August 2002
Anmelder/Inhaber: EPCOS AG, München/DE
Bezeichnung: Resonator und Bauelement mit hermetischer Verkapselung
IPC: H 03 H 9/25

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Agurks

Beschreibung

Resonator und Bauelement mit hermetischer Verkapselung

5 Die Erfindung betrifft einen mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonator, insbesondere einen Bulk Acoustiv Wave Resonator oder Thin Film Acoustiv Wave Resonator (BAW-Resonator oder FBAR-Resonator) sowie ein einen oder mehrere solcher Resonatoren enthaltendes Bauelement mit hermetischer
10 Verkapselung.

Solche Resonatoren sind insbesondere für Bandpaßfilter in der modernen Filtertechnologie geeignet und können z. B. in den Geräten der mobilen Kommunikation eingesetzt werden.

15

Ein mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator weist eine piezoelektrische Schicht auf, die zwischen zwei Metallschichten (Elektroden) angeordnet ist. Die Schichten werden auf einem Substrat übereinanderfolgend abgeschieden und dabei
20 so strukturiert, daß mehrere Resonatoren entstehen, die z.B. über ihre entsprechend strukturierten Elektroden elektrisch miteinander verbunden sind und zusammen zum Beispiel eine Filterschaltung realisieren können.

25

Um die akustische Energie der Volumenwelle im Resonator speichern zu können bzw. um zu verhindern, daß akustische Energie in das Substrat, auf dem der Resonator angeordnet ist, entweicht, wird unter dem Resonator entweder ein akustischer Spiegel angeordnet oder ein Luftspalt vorgesehen. Ein akustischer Spiegel besteht zumindest aus zwei, vorzugsweise aber
30 mehr Schichten, die alternierend aus Materialien mit hoher und niedriger akustischer Impedanz bestehen. Material und Dicke dieser Schichten sind dabei so gewählt, daß für die gewählte Resonanzfrequenz des Resonators alle Schichtdicken im
35 Bereich einer viertel Wellenlänge (oder ungeradzahlgiger Vielfacher einer Viertelwellenlänge) der in dem jeweiligen Schichtmaterial ausbreitungsfähigen akustischen Welle bei

dieser Frequenz sind. Unter diesen Bedingungen wird der theoretische Idealfall maximaler konstruktiver Interferenz der an den Grenzschichten reflektierten akustischen Wellen optimal angenähert und so das Entweichen akustischer Energie aus dem Resonator verhindert.

Den gleichen Zweck erfüllt auch ein Luftspalt, da der große Impedanzsprung zwischen der obersten (bzw. untersten) Schicht des Resonators und der Luft ausreichend ist, um die akustische Welle nahezu vollständig zu reflektieren.

Ein mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator bzw. ein Bauelement, welches solche Resonatoren aufweist, ist ebenso wie ein Oberflächenwellenbauelement (Surface Acoustic Wave oder SAW Bauelement) empfindlich gegen Massenbelastung oder Schädigung durch kontaminierende Substanzen auf der Oberfläche der Resonatoren. Üblicherweise werden daher für solche FBAR-Resonatoren und Bauelemente aus der Halbleitertechnik bekannte Bauelementgehäuse verwendet, in die die Bauelemente eingebaut, beispielsweise eingeklebt werden. Solche beispielsweise aus Keramik oder Metall bestehenden Gehäuse sind insbesondere zweiteilig und bestehen beispielsweise aus einer Wanne und einem Deckel oder einem Träger und einer Kappe, wobei die beiden Gehäuseteile nach dem Einsetzen des Bauelements miteinander verklebt, verschweißt oder verlötet werden können.

Solche Gehäusetechnologien erfordern jedoch einen hohen Verfahrens- und Kostenaufwand und können wegen erforderlicher Mindestmaße z.B. bezüglich Wanddicken mit der aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen geforderten Miniaturisierung der Bauelemente nicht Schritt halten. In der US 6087198 wird daher vorgeschlagen, die Verpackung durch eine äußere Versiegelung mittels einer Kunststoffmasse zu ersetzen. Um zu verhindern, daß diese Kunststoffversiegelung eine negative Einwirkung auf die akustischen Eigenschaften des Resonators hat, wird zwischen dem Resonator und der Versiegelung ein

akustischer Spiegel vorgesehen. Auch aus der US 5872493 wird eine über dem Bauelement aufgebrachte Versiegelung beschrieben, die zumindest eine Passivierungsschicht umfaßt, die aus SiO_2 , einem Epoxidharz oder einer beliebigen Glob Top Zusammensetzung besteht. Auch hier wird eine akustische Beeinträchtigung des Resonators durch einen dazwischen geschobenen akustischen Spiegel von zumindest drei Spiegelschichten verhindert.

10 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Verkapselung für einen FBAR-Resonator bzw. ein daraus aufgebautes Bauelement anzugeben, die eine ausreichend hermetische Versiegelung bei gleichzeitig ausreichend mechanischem Schutz gewährleistet und die einfacher als bekannte Lösungen aufgebaut ist.

15 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Resonator mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

20 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung schlägt vor, über einem herkömmlich aufgebauten Resonator einen akustischen Spiegel vorzusehen, der eine dielektrische und eine Metallschicht umfaßt. Die dielektrische Schicht ist dabei so ausgebildet, daß sie gleichzeitig eine hermetische Versiegelung für den oder die Resonatoren darstellt. Die die zweite Schicht des akustischen Spiegels bildende Metallschicht kann beim erfindungsgemäßen Bauelement in vorteilhafter Weise zur elektromagnetischen Abschirmung dienen. Im Vergleich zu den bekannten Lösungen wird beim erfindungsgemäßen Resonator eine Versiegelung bereits mit einem speziell aufgebauten akustischen Spiegel erreicht, ohne daß über dem akustischen Spiegel weitere Verkapselungsschichten angeordnet werden müssen.

35 Die dielektrische Schicht ist so ausgewählt, daß sie alleine die ausreichende hermetische Versiegelung des Resonators bzw.

eines daraus aufgebauten Bauelements gewährleistet. Ein erfindungsgemäßer Resonator ist daher wesentlich einfacher aufgebaut, ist daher kostengünstiger und einfacher herzustellen und weist ein geringeres Bauelementvolumen als bekannte Bauelemente auf.

Eine vorteilhafte akustische Spiegelwirkung wird erzielt, wenn die Schichtdicken von dielektrischer Schicht und Metallschicht in Abhängigkeit vom verwendeten Material so ausgewählt werden, daß deren Dicke etwa einem Viertel der Wellenlänge (oder einem ungeradzahligen Vielfachen einer Viertelwellenlänge) der in dem entsprechenden Material ausbreitungsfähigen akustischen Volumenwelle entspricht.

Weiterhin wird die Reflexion des akustischen Spiegels durch einen möglichst großen Unterschied der akustischen Impedanz der beiden Spiegelschichten beeinflusst. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird daher vorgeschlagen, für die dielektrische Schicht eine organische Schicht und insbesondere ein sogenanntes Low-k-Dielektrikum zu verwenden. Derartige Materialien sind als Dielektrika auf elektronischen Bauelementen bekannt und werden hier erstmals als funktionaler Bestandteil für mit akustischen Wellen arbeitende Bauelemente vorgeschlagen. Diese Low-k-Dielelektrika zeichnen sich durch eine außergewöhnlich niedrige akustische Impedanz aus und haben zudem meist außergewöhnlich gute Isolations- und Versiegelungseigenschaften, die sie für die erfindungsgemäße versiegelnde Spiegelschicht besonders geeignet machen.

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird bereits mit einem akustischen Spiegel erreicht, der zwei geeignete Spiegelschichten (dielektrische Schicht und Metallschicht) von niedriger bzw. hoher akustischer Impedanz aufweist. Soll die Verkapselung zusätzlich noch eine hohe mechanische Festigkeit aufweisen, wird in einer erfindungsgemäßen Weiterbildung vorgeschlagen, über dem akustischen Spiegel zumindest eine weitere Schicht oder ein weiteres Schichtenpaar so anzuordnen, daß sich eine

alternierende Abfolge von Schichten relativ niedriger akustischer Impedanz und von Schichten relativ hoher akustischer Impedanz ergibt. Da bereits mit den ersten beiden Schichten, also der dielektrischen Schicht und der Metallschicht bei geeignetem Impedanzunterschied eine ausreichend hohe akustische Reflexion erhalten werden kann, ist für weitere darüber anzuordnende akustische Spiegelschichten sowohl Auswahl des Materials als auch die genaue Schichtdicke weniger kritisch als für die beiden ersten Schichten. Für die weiteren darüber aufzubringenden Einzelschichten oder Schichtenpaare kommen daher auch andere und insbesondere kostengünstigere Materialien in Frage, die für den aus dielektrischer Schicht und Metallschicht bestehenden akustischen Spiegel selbst weniger oder nicht geeignet wären.

Die Erfindung kann mit einem einzelnen Resonator verwirklicht werden. Da übliche Verwendungen von mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonatoren üblicherweise Filterschaltungen sind, kann mit der Erfindung auch eine aus mehreren miteinander verschalteten Resonatoren bestehende Schaltung verkapselt werden. Eine solche Schaltung wird üblicherweise aus einem gemeinsamen Schichtaufbau strukturiert, der zumindest eine erste Elektrode, eine piezoelektrische Schicht und eine zweite Elektrode umfaßt. Durch geeignete Strukturierungsschritte der Elektrodenschichten und gegebenenfalls auch der piezoelektrischen Schicht wird eine geeignete Verschaltung der einzelnen Resonatoren erreicht, die beispielsweise eine Ladder type-Schaltung oder eine Lattice-Schaltung darstellen kann. Eine solche Schaltung kann eine beliebige Anzahl von Resonatoren umfassen. Für eine einfache Filterwirkung sind bei einer Ladder-Type Struktur wenigstens zwei Resonatoren erforderlich. Um die Selektivität des Filters zu erhöhen, kann die Struktur um weitere Resonatoren ergänzt werden. Die aus dem gemeinsamen Schichtaufbau strukturierten, miteinander verschalteten Resonatoren werden gemeinsam mit dielektrischer und Metallschicht überdeckt. Zur Vermeidung einer kapazitiven Verkopplung der Resonatoren über die Metallschicht und ggf.

weitere darüber aufgebrachte elektrisch leitende Schichten können diese zwischen den Resonatoren elektrisch aufgetrennt sein.

- 5 Der Schichtaufbau wird mittels Dünnschichtverfahren durch Über- und Nacheinanderabscheiden der einzelnen Schichten auf einen Wafer, ggf. unter Dazwischenanordnen eines akustischen Spiegels oder anderer Anpaß- und wachstumsvermittelnden Schichten erzeugt. Ein solcher Wafer kann aus herkömmlichen
- 10 Substratmaterialen bestehen, insbesondere aus Silizium, Galliumarsenid, Glas, Keramik oder beliebigen anderen als Trägermaterial geeigneten Stoffen. Aufgrund der geringen Größen erfindungsgemäßer Resonatoren oder aus mehreren Resonatoren hergestellter Bauelemente können auf einem Wafer eine Viel-
- 15 zahl von Bauelementen gleichzeitig und parallel aus einem gemeinsamen Schichtaufbau hergestellt werden. Dabei ist es dann auch möglich, die dielektrische und die Metallschicht ganzflächig über allen auf einem Wafer hergestellten Bauelementen abzuscheiden. Möglich und vorteilhaft ist es weiterhin, auf
- 20 dem Wafer zusätzliche aktive oder passive Schaltungselemente anzuordnen und integriert mit den Resonatoren zu verschalten. Auch solche aktiven und passiven Schaltungselemente können mit der erfindungsgemäßen Versiegelung, bestehend aus der dielektrischen Schicht und der Metallschicht, gemeinsam abgedeckt werden.
- 25

- Nach dem Aufbringen und ggf. Strukturieren der letzten Schicht werden die Bauelemente vereinzelt, beispielsweise durch einen Sägeprozeß durch den gesamten Schichtaufbau einschließlich des Substrates. Dabei stellt es keinen Nachteil
- 30 dar, daß die dielektrische Schicht an den Schnittkanten der einzelnen Bauelemente freigelegt wird, da die versiegelte Wirkung ausschließlich von der dielektrischen Schicht zur Verfügung gestellt wird. Die Metallschicht dient ausschließlich als Schicht hoher akustischer Impedanz für den akustischen Spiegel und kann bei geeigneter elektrischer Anbindung als elektromagnetische Abschirmschicht dienen.
- 35

Wie bereits erwähnt, können auf dem Wafer Schaltungen verwirklicht werden, die neben den Resonatoren aktive und passive Schaltungselemente umfassen, insbesondere Mikrostreifen-

5 leitungen, Induktivitäten, Kapazitäten, Transistoren, Dioden und Widerstände. Mit Hilfe der Resonatoren und der zusätzlichen Schaltungselemente können Schaltungen hergestellt werden, beispielsweise ein Hochfrequenzschalter, eine Anpaß-

10 Schaltung, ein Antennenschalter, ein Diodenschalter, ein Transistorschalter, ein Hochpaßfilter, ein Tiefpaßfilter, ein Bandpaßfilter, ein frequenzabstimmbares Filter, ein Bandsperr-

filter, ein Leistungsverstärker, ein Vorverstärker, ein LNA, ein Diplexer, ein Duplexer, ein Koppler, ein Richtungskopp-

15 ller, ein Speicherelement, ein BALUN, ein Mischer oder ein Oszillator. Für die anderen Schaltungs- und Anpaßelemente wird zwar kein akustischer Spiegel benötigt, doch dient auch hier die ganzflächig aufgebrachte dielektrische Schicht als Versiegelungsschicht und die Metallschicht als elektromagnetische Abschirmung für die Schaltungselemente.

20 Wünschenswerte und erreichbare Eigenschaft für die dielektrische Schicht ist eine gut reproduzierbare und in der Schichtdicke kontrollierbare Abscheidbarkeit in einem Dünnschichtverfahren. Weiterhin wünschenswert und vorteilhaft ist eine

25 niedrige Dielektrizitätskonstante, eine geringe Wasserdurchlässigkeit, eine geringe Wasseraufnahme und insbesondere eine niedrige akustische Impedanz.

Besonders vorteilhaft werden alle diese Eigenschaften in einem Benzocyclobuten verwirklicht. Benzocyclobutene sind aus

30 der Halbleiterindustrie und beispielsweise unter dem Namen Cycloten[®] bekannt und werden insbesondere als Zwischenschichten, als Dielektrika und als Versiegelungsschichten bei mikroelektronischen Schaltungen eingesetzt. Vorteilhaft sind

35 insbesondere die niedrige Dielektrizitätskonstante und die guten Schichteigenschaften, insbesondere die hohe Schichthomogenität, die sich mit einem Benzocyclobuten erreichen läßt.

Benzocyclobutene können vielfältig substituiert sein, um gewünschte Materialeigenschaften zu betonen oder zu verstärken. Sie polymerisieren unter Wärmeeinwirkung zu teilaromatischen polycyclischen Systemen, die chemisch nahezu inert sind. Benzocyclobutene können mit hoher Schichtdickengenauigkeit im Dünnschichtverfahren aufgebracht werden, so daß die Herstellung einer möglichst genau λ -viertel-dicken dielektrischen Schicht für ein erfindungsgemäßes Bauelement besonders einfach möglich ist. Die elastischen Eigenschaften des Dielektrikums können sich derart auswirken, daß Schichtstress, der sich an den Grenzflächen zu darunter liegenden Schichten oder zu darüber abgeschiedenen Schichten durch unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten der Schichten aufbauen kann, teilweise oder ganz kompensiert wird. Dielektrika auf der Basis verketteter stabiler Polymere werden z.B. in der Halbleiterindustrie bei der Herstellung integrierter optischer Bauelemente als sogenannte Stress-Compensation-Layer eingesetzt. Neben Benzocyclobuten sind weitere Low-k-Dielektrika bekannt, die eine niedrige akustische Impedanz aufweisen und erfindungsgemäß für die dielektrische Schicht und die Schichten relativ niedriger akustischer Impedanz eingesetzt werden können. Low-k-Dielektrika sind beispielsweise Aerogele, poröse Silikate, Organosilikate, ein von kondensierten Silsesquioxanen abgeleitetes Siloxan, eine polyaromatische Verbindung oder vernetztes Polyphenylen.

Werden diese Materialien für die dielektrische Schicht eingesetzt, so ist es gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung auch möglich, die dielektrische Schicht über den Resonatoren und den ggf. vorhandenen zusätzlichen Schaltungselementen zunächst zu planarisieren. Dabei wird eine eingeebnete Oberfläche der dielektrischen Schicht erhalten, was aber in Konsequenz bedeutet, daß über den einzelnen Resonatoren, über dem Wafer oder über anderen Schaltungselementen unterschiedliche Schichtdicken an dielektrischer Schicht erhalten werden. Erfindungsgemäß wird das Bauelement so planarisiert, daß die über den Resonatoren verbleibende Schichtdicke der

dielektrischen Schicht etwa einer λ -Viertelschicht (oder einem ungeradzahligen Vielfachen von λ -Viertelschicht) entspricht. Eine planarisierte Oberfläche der dielektrischen Schicht hat den weiteren Vorteil, daß das weitere Aufbringen zusätzlicher Schichten wesentlich erleichtert ist und insbesondere eine höhere Schichtdickenhomogenität, eine bessere Haftung und eine Materialeinsparung erreicht wird. Mit einer über mehreren Resonatoren und ggf. weiteren Schaltungselementen aufgetragenen planaren Schicht ergibt sich außerdem eine mechanisch belastbare Oberfläche, auf der es möglich ist, weitere Strukturen aufzubringen, beispielsweise eine weitere Metallisierungsebene, elektrische Anschlußflächen, beispielsweise lötbare Anschlußflächen, die das Aufbringen von Bumps erlauben, mit denen das Bauelement in Flip-Chip-Technik mit einer Leiterplatte, einem Moduls substrat oder einer äußeren Schaltungsumgebung verbunden werden kann.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und den dazugehörigen schematischen Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt einen auf einem Substrat aufgetragenen Resonator mit einem akustischen Spiegel.

Figur 2 zeigt einen über einem Luftspalt aufgetragenen Resonator.

Figur 3 zeigt eine Verkapselung für einen Resonator.

Figur 4 zeigt einen Resonator mit einer Glob Top-Versiegelung.

Figur 5 zeigt einen erfindungsgemäßen Resonator.

Figur 6 zeigt zwei erfindungsgemäße Resonatoren.

Figur 7 zeigt zwei erfindungsgemäße Resonatoren mit einer planarisierten dielektrischen Schicht.

Figur 8 zeigt die Anordnung mit einem durchgehenden unteren akustischen Spiegel.

Figur 9 zeigt ein erfindungsgemäßes Bauelement mit einem weiteren Schichtenpaar über der Metallschicht.

Figur 10 zeigt ein erfindungsgemäßes Bauelement, bei dem ein weiteres Schaltungselement integriert ist.

Figur 11 zeigt das simulierte Durchlaßverhalten eines aus erfindungsgemäßen Resonatoren aufgebauten Duplexers mit einer gemeinsamen Verkapselung

Figur 1 zeigt im schematischen Querschnitt einen an sich bekannten FBAR-Resonator, der auf einem beliebigen Substrat SU als Dünnschichtaufbau SA verwirklicht ist. Direkt über dem Substrat, ggf. über Anpassungsschichten, ist ein akustischer Spiegel AS vorgesehen. Dieser umfaßt zumindest zwei, vorzugsweise drei und mehr als λ -Viertel-Schichten mit alternierend hoher und niedriger Impedanz. Über dem akustischen Spiegel AS ist der eigentliche Resonator, bestehend aus einer ersten Elektrodenschicht ES1, einer piezoelektrischen Schicht PS und einer zweiten Elektrodenschicht ES2 aufgebaut.

Figur 2 zeigt eine alternative Möglichkeit, einen FBAR-Resonator ohne akustischen Spiegel zu fertigen. In diesem Fall besteht der Schichtaufbau aus mit einer Elektrodenschicht ES1, einer piezoelektrischen Schicht PS und einer zweiten Elektrodenschicht ES2. Nach dem Fertigen des Schichtaufbaus SA wird das Substrat im Bereich des Resonators gedünnt, wobei entweder eine dünne Membran M verbleibt, oder wobei das Substrat vollständig entfernt wird und im Bereich des Resonators die untere Elektrodenschicht ES1 freigelegt wird.

Figur 3 zeigt in schematischer Querschnittsdarstellung eine bekannte Methode zur hermetischen Verkapselung eines FBAR-Resonators. Der herkömmliche, beispielsweise in Figur 1 oder
5 Figur 2 aufgebaute Schichtaufbau SA wird hier mit einer kap-penförmigen Abdeckung AD so abgedeckt, daß über dem Schicht-aufbau SA ein Luftspalt LS verbleibt, damit keine Dämpfung der akustischen Schwingung erfolgen kann. Die Abdeckung AD kann mit dem Substrat SU verklebt, verlötet oder anderweitig
10 befestigt werden.

Figur 4 zeigt im schematischen Querschnitt eine weitere aus der bereits genannten US 6087198 B bekannte Möglichkeit zur Versiegelung eines FBAR-Resonators. Über dem herkömmlichen
15 Schichtaufbau 41 ist ein zumindest drei Schichten umfassender akustischer Spiegel 48 angeordnet. Der einzelne Resonator wird anschließend mit einer Glob Top Masse, beispielsweise einem flüssig aufbringbaren Epoxidharz abgedeckt, welches an-schließend gehärtet wird. Mit der Glob Top Abdeckung dieses
20 einzelnen Resonators soll dieser gegen Umwelteinflüsse ge-schützt werden.

Figur 5 zeigt anhand eines schematischen Querschnitts aus-zugsweise ein erfindungsgemäßes Bauelement. Dieses umfaßt ei-nen Schichtaufbau SA, der den Resonator und ggf. den akusti-schen Spiegel enthält, und über einem Substrat SU aufgebracht ist. Erfindungsgemäß ist nun der gesamte in dem Schichtaufbau SA verwirklichte Resonator mit einer dielektrischen Schicht
25 DS abgedeckt, deren Dicke etwa einem Viertel (oder einem un-geradzahligen Vielfachen davon) der Wellenlänge der darin ausbreitungsfähigen akustischen Welle entspricht. Die dielek-trische Schicht DS dient dabei gleichzeitig zur Versiegelung des Bauelements und ist vorzugsweise aus einem organischen Low-k-Dielektrikum aufgebaut.
30

35

Darüber ist eine Metallschicht MS angeordnet, deren Dicke ebenfalls einer Viertel-Wellenlänge (oder einem ungeradzahli-

gen Vielfachen davon) bei der Arbeitsfrequenz des Resonators entspricht. Das Metall ist insbesondere unter dem Gesichtspunkt einer maximalen akustischen Impedanz ausgewählt. Besonders geeignet für die Metallschicht sind daher die Metalle
5 Wolfram, Molybdän oder Gold.

Figur 6 zeigt anhand eines schematischen Querschnitts ein mehrere Resonatoren umfassendes Bauelement. In der Figur sind zwei Resonatoren R1, R2 aus einem Schichtaufbau strukturiert und auf einem Substrat SU angeordnet. Ganzflächig ist darüber eine dielektrische Schicht in eine Dicke D1 aufgebracht, die einer Viertelwellenlänge entspricht. Die dielektrische Schicht wird vorzugsweise konform aufgebracht und folgt daher der Topologie der Resonatoren R1 und R2. Dabei ist es nicht
10 erforderlich, daß die dielektrische Schicht DS überall die gleiche Schichtdicke D1 aufweist, die lediglich über den Resonatoren einzuhalten ist.

Ganzflächig über der dielektrischen Schicht DS ist eine Metallschicht MS angeordnet, die ebenfalls zumindest über den Resonatoren eine Schichtdicke D2 aufweist, die einer Viertelwellenlänge der Resonatorarbeitsfrequenz entspricht. Aus der Figur ist klar ersichtlich, daß die Resonatoren R1, R2 vollständig von der dielektrischen Schicht bedeckt sind, die außerhalb der Resonatoren mit dem Substrat SU abschließen kann. Aufgrund der versiegelnder Eigenschaften der dielektrischen Schicht, insbesondere deren geringer Wasseraufnahme und geringer Wasserdurchlässigkeit und deren Dichtheit gegenüber Gasen mit hohem Molekülvolumen und Flüssigkeiten, die das vernetzte oder verkettete Polymernetz nicht zu durchdringen vermögen, ist der Resonator optimal gegen Umwelteinflüsse geschützt. Mit der Metallschicht ist er weiterhin auch mechanisch geschützt und wird durch mechanische Einwirkung auch in seinen akustischen Eigenschaften nicht beeinträchtigt. Dies
20 eröffnet die Möglichkeit, über der Metallschicht weitere Schichten, Strukturen, Metallisierungsebenen oder Lötverbindungen vorzusehen. Gleichzeitig sorgt die Metallschicht MS
25
30
35

für eine elektromagnetische Abschirmung der Resonatoren. Dies ist insbesondere bei der Verwendung der Resonatoren in Filterschaltungen für Front-end-Module in der mobilen Kommunikation und dort insbesondere im Empfangsteil von Vorteil.

5

Bezüglich der für die Erfindung wichtigen Schichtdicken D1 und D2 ist die gewünschte Arbeitsfrequenz des Resonators entscheidend. Werden die Resonatoren etwa in HF-Filtern für den 2 Gigahertz-Bereich eingesetzt, so ergibt sich beispielsweise für Benzocyclobuten als dielektrische Schicht DS eine einer Viertelwellenlänge entsprechende Schichtdicke D1 von ca. 200 nm. Dieser Wert liegt gut innerhalb der Schichtdicke, die beispielsweise mit BCB (Benzocyclobuten) bezüglich Schichtdickengenauigkeit beherrschbar sind. Bezüglich der Schichtdicke D2 der Metallschicht MS ergibt sich beispielsweise für Wolfram eine Schichtdicke zwischen 650 und 700 nm, die ebenfalls technisch beherrschbar und genau einstellbar ist. Sind aus technologischen Gründen höhere Schichtdicken für die dielektrische Schicht DS und/oder für die Metallschicht MS erwünscht (z.B. zur besseren Kantenbedeckung von Bauteilen oder zum Erzielen einer höheren Dichte), so kann für die jeweiligen Schichtdicken auf ungeradzahlige Vielfache der Viertelwellenlängen ausgewichen werden. Statt 200nm BCB (entspricht etwa einer einer Lambdaviertelschicht bei einer Frequenz von 2 GHz) können auch 600nm BCB (etwa eine $3\lambda/4$ Schicht bei einer Frequenz von 2 GHz) abgeschieden werden. Die durch diese Maßnahme erzielten technologischen Vorteile (etwa eine bessere Kantenbedeckung durch erhöhte Konformität) sind gegenüber möglichen Nachteilen in der akustischen Performance (ggf. höhere Einfügedämpfung durch erhöhter viskose Verluste in dickeren Schichten) genau abzuwägen.

30

Die erfindungsgemäß erstmals vorgeschlagene Schichtkombination eines Low-k-Dielektrikums und einer Hochimpedanz-Metallschicht hat den weiteren Vorteil, daß zwei Schichten ausreichend sind, einen hohen Anteil (mehr als 95%) der akustischen Energie an den Grenzflächen dieser beiden Schichten

35

in den Resonator zurück zu reflektieren. Durch die geringe Anzahl von nur zwei Spiegelschichten erhält der Spiegel eine hohe Bandbreite. Dies bedeutet, daß innerhalb der Spiegelbandbreite liegende Frequenzanteile gleichmäßig gut reflektiert werden können. Genauer heißt dies, daß beispielsweise die Schichtkombination BCB/W als akustischer Reflektor bei Frequenzen um 2 GHz für alle solchen Resonatoren gleich gut geeignet ist, deren Frequenzen nicht mehr als etwa $\pm 7\%$ von einer gegebenen Frequenz abweichen, auch wenn für die entsprechenden akustischen Wellenlängen λ die Dicken der Spiegelschichten nicht exakt mit dem theoretischen Idealwert $\lambda/4$ übereinstimmen. Alternativ kann bei gleichen Frequenzen auf diese Weise eine Schichtdickentoleranz von $\pm 7\%$ in Kauf genommen werden, ohne daß dies die Reflektivität des Schichtenpaares unzulässig vermindern würde.

Die geringe Anzahl von nur zwei Schichten zur Erzeugung eines akustischen Spiegels mit hoher Reflexion und hoher Bandbreite ist insbesondere auf die niedrige akustische Impedanz des Low-k-Dielektrikums zurück zu führen, die ungefähr eine Größenordnung niedriger ist als für bisherige Spiegelschichten mit niedriger Impedanz und insbesondere als für das bisher verwendete SiO_2 . Die hohe Spiegelbandbreite erlaubt Schichtdickenschwankung von $\pm 7\%$. Dies entspricht bei einer 200 nm Schichtdicke für BCB einer einzuhaltenden Präzision von ± 14 nm. Dies ist einfach einzuhalten, da nach dem Stand der Technik BCB mit Schichtdickengenauigkeit von $\pm 0,5\%$ erzeugt werden kann. Für die Abscheidung der Metallschicht MS können noch höhere Schichtdickengenauigkeiten erreicht werden. Darüber hinaus ist es möglich, neben der Schichtdicke λ -Viertel die Schichtdicken auf ungerade Vielfache von λ -Viertel zu erhöhen. Dies kann beispielsweise für die Metallschicht sinnvoll sein, um eine mechanisch feste und beispielsweise lötbare Oberfläche zu schaffen. Die Aufdickung der Metallschicht ist außerdem unproblematisch, da ein großer Teil der akustischen Welle bereits an der Grenzfläche vom Resonator R bzw. vom Schichtaufbau SA zur dielektrischen Schicht DS stattfindet.

det. Da somit ein nur geringer Teil der akustischen Energie überhaupt in die Metallschicht MS eindringen kann, ist eine Verminderung der Reflexion aufgrund einer nicht exakt auf λ -Viertel eingestellten Schichtdicke D2 deutlich weniger kritisch, so daß beispielsweise eine 50%ige Schichtdickengenauigkeit für die Metallschicht MS ausreichend ist. Dies ist wichtig, da Schichtdickentoleranzen meist nur prozentual zur Schichtdicke einzuhalten sind, für einen akustischen Spiegel aber die absolute Toleranz bzw. Abweichung maßgeblich ist.

Figur 7 zeigt im schematischen Querschnitt eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Auch hier ist ein aus mehreren Resonatoren R1, R2 bestehendes Bauelement dargestellt, welches als Schichtaufbau auf einem Substrat SU erzeugt ist. Im Unterschied zu der in Figur 6 dargestellten Ausführung wird hier die dielektrische Schicht DS ebenfalls ganzflächig aufgebracht, aber anschließend planarisiert. Damit hat die dielektrische Schicht unterschiedliche Schichtdicken, da die freien Räume zwischen den Resonatoren R1, R2 ebenfalls mit dem Material der dielektrischen Schicht DS gefüllt sind. Bei geeigneter Materialbemessung, geeignetem oder kontrolliertem Verfahren ist es möglich, auch bei der Planarisierung der dielektrischen Schicht über den Resonatoren R1, R2 eine Dicke D1 auf den gewünschten Wert von λ -Viertel einzustellen. Über einer solchen planarisierten dielektrischen Schicht DS ist das Aufbringen weiterer Schichten und insbesondere der Metallschicht MS erleichtert. Ein Standardverfahren, dielektrische Schichten wie beispielsweise BCB zu planarisieren, ist chemisch-mechanisches Polieren (CMP) der Oberfläche. Hierbei kann auch die erforderliche Spiegelschichtdicke eingestellt werden, ohne die Rauigkeit des Dielektrikums wesentlich zu erhöhen, es entstehen dabei nur sub-nm-Rauigkeiten.

Figur 8 zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung, bei der ein einziger akustischer Spiegel AS für eine Reihe von Resonatoren R1, R2 verwendet werden kann. In einer gängigen Filterschaltung, beispielsweise einer Ladder-type-Schaltung

wird beispielsweise zwischen seriell angeordneten Resonatoren und den in parallelen Zweigen angeordneten Resonatoren unterschieden, wobei der Unterschied neben der Anordnung in der Schaltung auch in einer unterschiedlich eingestellten Resonanzfrequenz besteht. Neben einem breitbandigen akustischen Spiegel AS, der in Form von dielektrischer Schicht DS und der Metallschicht MS erfindungsgemäß über den Resonatoren aufgebracht ist, kann ein ähnlicher breitbandiger Spiegel auch zwischen Substrat und den Resonatoren vorgesehen sein. Für das Erreichen einer Breitbandigkeit bei einer Schichtkombination aus Low-k-Dielektrikum und Hochimpedanz-Metallschicht genügen auch hier zwei Spiegelschichten, um eine hohe Reflexion von mehr als 95% zu gewährleisten. Die Breitbandigkeit des akustischen Spiegels wird hier genutzt, um für unterschiedliche Frequenzen paralleler und serieller Resonatoren die gleiche Reflektivität zur Verfügung zu stellen.

Figur 9 zeigt im schematischen Querschnitt eine weitere Ausgestaltung der Erfindung, bei der über der Metallschicht weitere Schichten abgeschieden sind. Insbesondere können diese Schichten weitere Niederimpedanzschichten NI und einer Hochimpedanzschicht HI in alternierender Abfolge sein. Da jedoch bereits die Kombination dielektrische Schicht/Metallschicht ausreichend Reflexion für die akustische Welle im Bereich der Resonanzfrequenz besitzt, ist die akustische Impedanz der weiteren Schichten LI, HI von nur geringfügiger Bedeutung. Vorzugsweise wird jedoch direkt über der Metallschicht eine Schicht mit niedrigerer Impedanz erzeugt.

Figur 10 zeigt im schematischen Querschnitt ein um ein zusätzliches Schaltungselement SE erweitertes Bauelement, welches ebenfalls vollständig mit der dielektrischen Schicht und der Metallschicht verkapselt ist. Das weitere Schaltungselement SE kann eine aktive Schaltungskomponente, beispielsweise ein integrierter Schaltkreis (Integrated Circuit, IC) sein. Außerdem kann das Schaltungselement SE auch eine passive Komponente sein, beispielsweise ein aus einer Metallisierung

strukturiertes induktives, kapazitives oder Widerstandselement. Dieses Schaltungselement SE kann mit den Resonatoren R1, R2 verschaltet sein und beispielsweise eine Anpaß-Schaltung bilden. Durch die erfindungsgemäße Verkapselung ist es möglich, beliebige Schaltungselemente vorzusehen und gemeinsam zu verkapseln, und daher auch beliebige Schaltungen mit den Resonatoren R1, R2 zu erzeugen.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird erfindungsgemäß eine Duplexerschaltung erzeugt, die für den Mobilfunkstandard UMTS geeignet ist. Sowohl RX- als TX-Filter sind aus FBAR-Resonatoren aufgebaut, die aus dem gleichen Schichtaufbau SA durch Strukturierung herausgebildet sein können. Die erforderlichen unterschiedlichen Resonanzfrequenzen werden durch zusätzlichen Schichtauftrag, durch zusätzliche Trennschichten oder durch strukturierenden Schichtabtrag auf die erforderliche Schichtdicke eingestellt. Die dielektrische Schicht wird mit einer Dicke von 220 nm als λ -Viertel-Spiegelschicht über alle seriellen und parallelen Resonatoren aufgebracht. Die akustische Impedanz von BCB liegt dabei bei einem Wert von $1,7 \times 10^6$ kg/sm². Als Hochimpedanzschicht bzw. als Metallschicht wird eine Wolframschicht in einer Dicke von ca. 680 nm aufgebracht. Deren Impedanz liegt dann bei 94×10^6 kg/sm². Aufgrund der nur geringen Sensitivität der Reflexion auf die Schichtdicke der Metallschicht werden gleiche Ergebnisse auch mit einer Schichtdicke von bis zu 1 μ m erreicht.

Unter allen Resonatoren kann ein gemeinsamer akustischer Spiegel vorgesehen sein. Um eine kapazitive Kopplung zwischen einzelnen Resonatoren zu vermeiden, können in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung die elektrisch leitenden Spiegelschichten, insbesondere also die Metallschicht und die aus Metall bestehenden Schichten des akustischen Spiegels unterhalb der Resonatoren schon beim Aufbringen der Schichten durch einen geeigneten Strukturierungsschritt zwischen den kapazitiv zu entkoppelnden Resonatoren aufgetrennt werden.

Figur 11 zeigt das simulierte Durchlaßverhalten (Beiträge der komplexen Transmissionsfunktionen $S(\text{Ant}, \text{Rx})$ und $S(\text{Ant}, \text{Tx})$ der komplexen 3-Tor-Duplexer-Streumatrix) eines auf diese Weise erfindungsgemäß aus FBAR-Resonatoren aufgebauten Duplexers mit einer gemeinsamen Verkapselung. Es zeigt sich, daß mit dem erfindungsgemäßen Aufbau sowohl für RX- als auch TX-Filter typische Anforderungen an das Durchlaßverhalten eines UMTS Duplexers gut erfüllt werden.

10 In den Figuren nicht dargestellt ist die elektrische Verschaltung der Resonatoren, die durch entsprechende Strukturierung der Elektrodenschicht E1, E2 (siehe z. B. Figur 1 und 2) entsprechend einer gewünschten Verschaltung, beispielsweise einer Ladder-type-Schaltung erreicht werden kann. Die
15 Elektrodenschichten ES können außerdem so strukturiert werden, daß elektrische Anschlußflächen außerhalb des von den Resonatoren beanspruchten Bereichs auf der Oberfläche des Substrats SU erzeugt werden können. Diese Anschlußflächen können anschließend entweder von oben oder von unten zugänglich gemacht werden. Von oben her ist dazu ein Entfernen von
20 dielektrischer Schicht und Metallschicht und ggf. weiter darüber aufgebracht Schichten erforderlich. Möglich ist es auch, eine Durchkontaktierung durch die genannten Schichten vorzusehen und diese beispielsweise vollständig mit einem
25 leitfähigen Material auszufüllen. Zur Kontaktierung von unten her können im Substrat Durchkontaktierungen vorgesehen sein. Möglich ist es auch, von oben freigelegte Anschlußflächen durch Anlöten von Bonddrähten zu kontaktieren. Möglich ist es auch, eine integrierte Verdrahtung vorzusehen, die die Anschlußflächen mit einer Metallisierungsstruktur verbindet,
30 die elektrisch isoliert gegen die Metallschicht über der Metallschicht MS angeordnet ist. In dieser Metallisierungsebene können die genannten elektrischen Verbindungen, beispielsweise Verbindungen über Bonddrähte oder direkte Verbindung mit
35 Flip Chip-Bonden vorgenommen werden. Das Flip Chip-Bonden ist auch mit Anschlußflächen bzw. über Anschlußflächen möglich, die direkt auf der Substratoberfläche vorgesehen sind und

über denen dielektrische Schicht DS und Metallschicht MS entfernt sind.

Der Übersichtlichkeit halber wurde die Erfindung nur anhand
5 weniger Ausführungsbeispiele exakt dargestellt. Die Erfindung
ist jedoch nicht auf die dargestellten Beispiele beschränkt
und kann weiter variiert werden. Solche Variationen sind insbesondere bezüglich zusätzlicher Schichten oder Strukturen,
10 unterschiedliche Anzahl und Anordnung von Resonatoren nebeneinander oder übereinander zu sogenannten SCF Filtern oder
CRF Filtern und/oder zusätzlichen Schaltungselementen SE, die
ggf. auch oberhalb der Metallschicht MS vorgesehen sein können. Auch die mit der Erfindung realisierbaren zu verkapselnden
15 Schaltungen sind nicht auf die angeführten Beispiele beschränkt.

Patentansprüche

1. Mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator, realisiert in einem Schichtaufbau (SA), welcher

- 5 - zumindest eine erste und eine zweite Elektrodenschicht (ES1, ES2), die als Elektroden für den Resonator dienen, und
- zumindest eine piezoelektrische Schicht (PS), die zwischen zwei der genannten Elektrodenschichten angeordnet ist, um-
- 10 faßt,

wobei der Schichtaufbau auf einem Wafer (SU) angeordnet ist, wobei der Schichtaufbau ganzflächig mit einer dielektrischen Schicht (DS) und die dielektrische Schicht mit einer Metallschicht (MS) überdeckt sind,

- 15 wobei die dielektrische Schicht eine hermetische Versiegelung für den Resonator ausbildet, wobei die dielektrische Schicht und die Metallschicht vom Material und der Dicke so ausgewählt sind, daß sie jeweils eine Schicht relativ geringer akustischer Impedanz sowie eine
- 20 Schicht relativ hoher akustischer Impedanz darstellen und einen akustischen Spiegel für die im Resonator erzeugbaren akustischen Volumenwellen bilden.

2. Resonator nach Anspruch 1,

- 25 bei dem die Schichtdicken von dielektrischer Schicht (DS) und Metallschicht (MS) im Bereich einer Viertelwellenlänge oder im Bereich eines ungeradzahligen Vielfachen einer Viertelwellenlänge liegen.

30 3. Resonator nach Anspruch 1 oder 2,

- bei dem der akustischen Spiegel (AS) zumindest ein weiteres, über der Metallschicht (MS) angeordnetes Schichtenpaar umfaßt, bestehend aus einer Schicht relativ geringer akustischer Impedanz (LI) und einer Schicht relativ hoher akustischer Impedanz (HI).
- 35

4. Bauelement mit mehreren Resonatoren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
bei dem die Resonatoren (R1, R2) in dem Schichtaufbau (SA) realisiert und über die Elektrodenschichten (ES) elektrisch
5 miteinander verschaltet sind und zumindest den Teil einer Schaltung ausbilden,
wobei die dielektrische Schicht (DS) und die Metallschicht (MS) und, sofern vorhanden, das zumindest eine weitere Schichtenpaar (LI,HI) sämtliche der Resonatoren überdeckt und
10 für diese den akustischen Spiegel (AS) darstellt.
5. Bauelement nach Anspruch 4,
bei dem die dielektrische Schicht (DS) eine organische Schicht ist.
15
6. Bauelement nach Anspruch 5,
bei dem die dielektrische Schicht (DS) ein Benzocyclobuten umfaßt.
- 20 7. Bauelement nach einem der Ansprüche 4 bis 6,
bei dem die dielektrische Schicht (DS) ganzflächig auf dem Wafer (SU) über allen Resonatoren (R1,R2) erzeugt und annähernd planarisiert ist, so daß die für den akustischen Spiegel (AS) erforderlichen Schichtdicken nur über den Resonatoren eingehalten sind.
25
8. Bauelement nach einem der Ansprüche 4 bis 7,
bei dem auf oder in dem Wafer (SU) weitere aktive oder passive Schaltungselemente (SE) anderer Bauart angeordnet und zusammen mit den Resonatoren (R1,R2) in Schaltungen integriert
30 sind, wobei die den akustischen Spiegel (SA) bildenden Schichten eine Verkapselung für die aktiven oder passiven Bauelemente und die Resonatoren ausbilden.
- 35 9. Bauelement nach einem der Ansprüche 4 bis 8,
bei dem alle Resonatoren (R1,R2) sowie die aktiven und passiven Schaltungselemente (SE) auf dem Wafer (SU) in einer

Schaltung integriert sind, die ausgewählt ist aus einem Hochfrequenz-Schalter, einer Anpaßschaltung, einem Antennenschalter, einem Diodenschalter, einem Transistorschalter, einem Hochpaßfilter, einem Tiefpaßfilter, einem Bandpaßfilter, einem Bandsperrfilter, einem in der Frequenz abstimmbaren Filter, einem Leistungsverstärker, einem Vorverstärker, einem LNA, einem Diplexer, einem Duplexer, einer Filterbank, einem Koppler, einem Richtungskoppler, einem Speicherelement, einem Balun, einem Mischer oder einem Oszillator.

10

10. Bauelement nach einem der Ansprüche 4 bis 9, bei dem auf dem Wafer (SU) weitere Bauelemente der gleichen Art angeordnet sind.

15

11. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem das dielektrische Material relativ niedriger akustischer Impedanz ein low-k Dielektrikum ist.

20

12. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem das Material relativ hoher akustischer Impedanz ausgewählt ist aus Wolfram W, Molybdän Mo, Gold Au oder Aluminiumnitrid AlN.

25

13. Bauelement nach Anspruch 12, bei dem als low-k Dielektrikum ein Aerogel, ein poröses Silikat, ein Organosilikat, ein von kondensierten Silsesquioxanen abgeleitetes Siloxan, eine polyaromatische Verbindung, ein vernetztes Polyphenylen oder ein polymerisiertes Benzocyclobuten ausgewählt ist.

30

14. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei dem der Wafer (SU) auf der Oberfläche lötfähige Kontakte aufweist, die mit den Resonatoren (R1, R2) oder mit einem oder mehreren der mit den Resonatoren in Schaltungen integrierten aktiven und/oder passiven Bauelemente (SE) elektrisch leitend verbunden sind.

35

15. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
bei dem der Wafer (SU) auf der Unterseite lötfähige Anschlüsse aufweist, die über Durchkontaktierungen im Wafer mit den Resonatoren (R1, R2) oder mit einem oder mehreren der mit den
5 Resonatoren in Schaltungen integrierten aktiven und/oder passiven Bauelemente (SE) elektrisch leitend verbunden sind.

16. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
ausgebildet als Bulk Acoustic Wave Resonator, Stacked Crystal
10 Filter oder Coupled Resonator Filter.

Zusammenfassung

Resonator und Bauelement mit hermetischer Verkapselung

- 5 Es wird ein mit akustischen Volumenwellen arbeitender Resonator vorgeschlagen, welcher auf einem an sich bekannten Schichtaufbau basiert, der über einem Substrat angeordnet ist. Erfindungsgemäß wird der Schichtaufbau samt darin enthaltener Resonatoren ganzflächig mit einer dielektrischen
- 10 Schicht und einer Metallschicht überdeckt, die zusammen einen akustischen Spiegel bilden, wobei für die dielektrische Schicht ein Low-k-Dielektrikum verwendet wird. Der ganzflächige Spiegel bietet Breitbandfunktionalität über einen geeigneten Frequenzbereich. Das im Spiegel enthaltene Dielektrikum
- 15 fungiert dabei als versiegelnde Schutzschicht für den oder die Resonatoren.

Figur 5

1/3

Fig 1

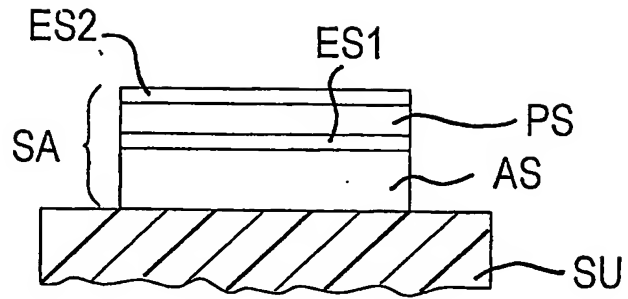


Fig 2

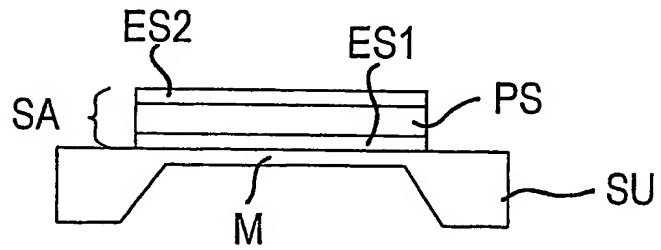


Fig 3

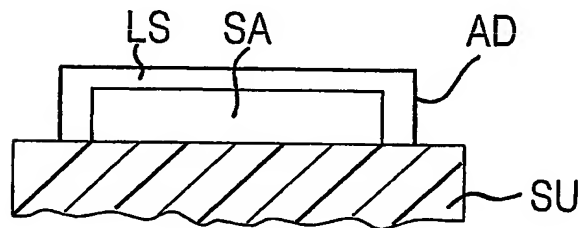
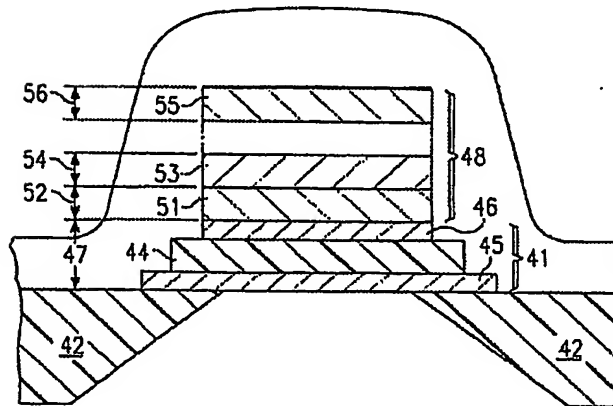


Fig 4



2/3

Fig 5

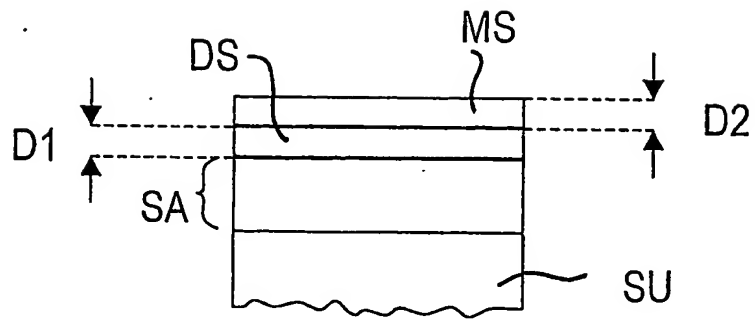


Fig 6

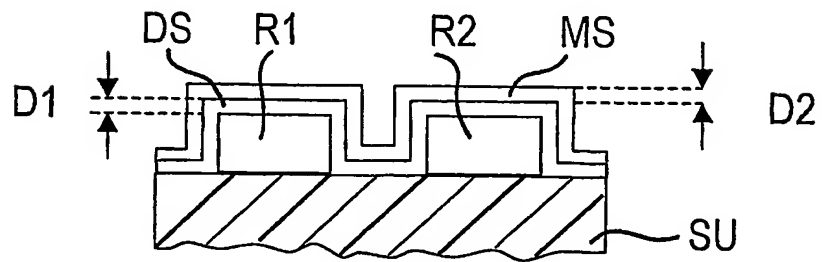


Fig 7

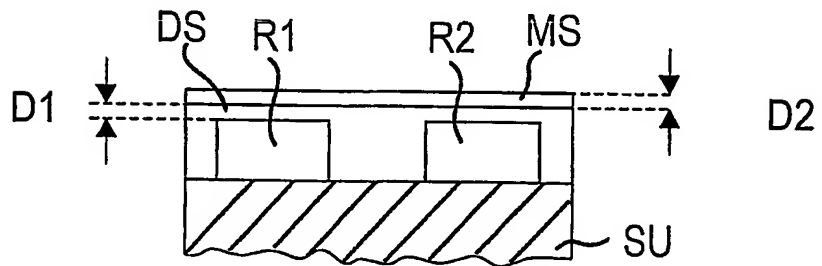


Fig 8

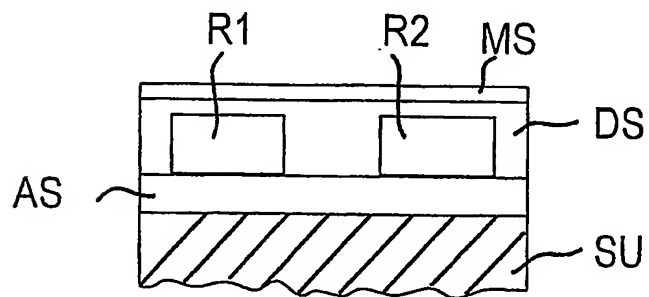


Fig 9

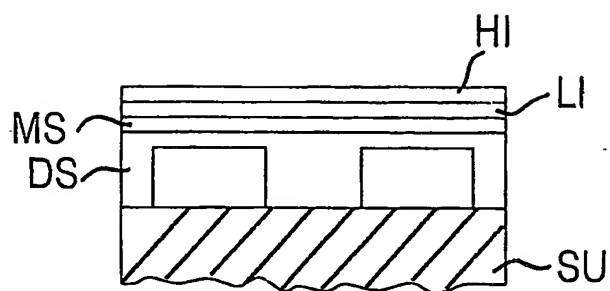


Fig 10

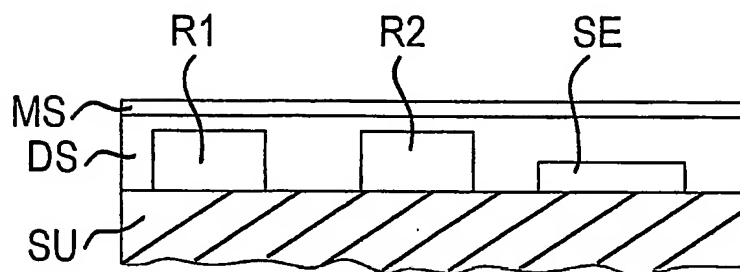


Fig 11

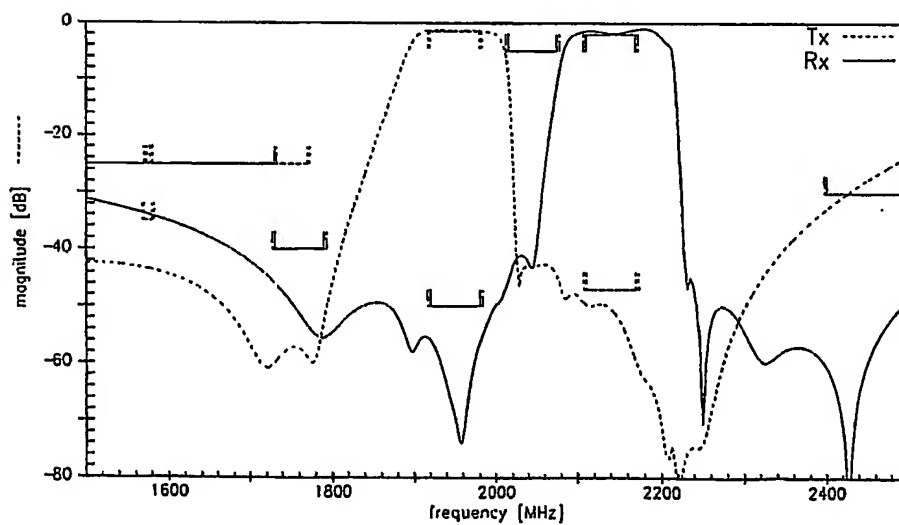


Fig 5

